

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

О. Л. ШЕСТОПАЛОВА

*Московский авиационный институт, филиал „Восход“, 468320, г. Байконур, Казахстан  
E-mail: neman2004@mail.ru*

Приведена постановка задачи формирования целевого состояния развития информационной системы (ИС) на примере синтеза структуры двухуровневой распределенной системы сбора и обработки информации о техническом состоянии космических аппаратов. Применен подход к реализации концепции функционально-структурного синтеза сложных систем, основанный на решении многокритериальной задачи дискретного программирования. Конкретизирован состав и размерности обобщенных векторов структурных параметров системы и ее элементов. Приведены выражения для оценивания размерности решаемой задачи, сделан вывод о необходимости применения специальных приемов сокращенного перебора вариантов ИС.

**Ключевые слова:** *система сбора и обработки информации, космический аппарат, функционально-структурный синтез, многокритериальное дискретное программирование*

**Введение.** Возрастание темпов научно-технического прогресса в совершенствовании информационных систем (ИС) обуславливает необходимость развития систем сбора и обработки информации (ССОИ) о техническом состоянии (ТС) космических аппаратов (КА) [1—3]. Вопросам управления развитием сложных распределенных иерархических систем посвящено достаточно много работ [4—8]. В монографии Е. П. Балашова [8] с позиций системного анализа достаточно подробно исследованы концептуальные вопросы развития ИС, дано определение функционально-структурного синтеза (ФСС). Техническая структура ИС полностью определяется потребностью в реализации функций. Между реализуемыми функциями и технической структурой ИС нет взаимно-однозначного соответствия (т.е. может быть несколько систем с одинаковыми функциями, но с различной структурой). Функционально-структурная организация адаптируется к условиям эксплуатации ИС. Изменение этих условий (внешней среды) вызывает изменение функций, а следовательно, технической структуры.

В концепции ФСС одним из важнейших этапов развития ИС является определение его цели, под которой понимается такое функциональное и техническое состояние, достижение которого позволяет обеспечить требуемое качество выполнения целевых задач ИС как в текущий момент времени, так и на определенную перспективу.

В настоящей статье рассмотрим постановку задачи ФСС облика двухуровневой распределенной иерархической системы контроля параметров технического состояния бортовой аппаратуры КА (далее информационной системы). ИС функционирует на стадиях создания и летной эксплуатации КА, она включает в себя два уровня базисных подсистем: I — наземного

базирования (размещенные на предприятиях и космодромах); П — орбитального базирования (размещенные на космических аппаратах).

**Постановка задачи ФСС облика ИС.** Исходными данными для синтеза перспективного облика ИС являются:

1) перечень задач, которые должна решать синтезируемая ИС на основных стадиях жизненного цикла КА, а также соответствующий состав алгоритмического обеспечения их решения, что позволяет гарантировать ненаступление функционального устаревания ИС на заданном горизонте планирования развития;

2) характеристики алгоритмов решения задач ИС (например, необходимый объем оперативной памяти для программной реализации алгоритмов, среднее число операций, выполняемых в единицу времени, затраты ресурсов на поддержание функционирования алгоритмов и т.п.), а также последовательность выполнения алгоритмов при решении текущих и перспективных задач ИС;

3) основные классы технического оборудования, которое может быть использовано для реализации алгоритмов решения задач (например, датчики, процессоры, серверы, системы передачи данных и т.п.);

4) перечни типов оборудования (перечни образцов — функциональных аналогов) внутри каждого класса технического оборудования, решающего одни задачи, но в силу своей разнотипности обладающего различными техническими и эксплуатационно-техническими характеристиками;

5) количественные оценки технических и эксплуатационно-технических характеристик образцов оборудования (например, чувствительности, производительности, скорости передачи информации, массы, габаритов, уровня энергопотребления, надежности, стоимости, эксплуатационных затрат и т.п.).

Задача формирования целевого состояния рассматриваемой ИС (т.е. синтеза облика двухуровневой системы контроля параметров бортовой аппаратуры КА на основных стадиях их жизненного цикла) может быть сформулирована следующим образом: найти такой вариант распределения текущих и перспективных задач и размещения образцов основных классов технического оборудования по базисным подсистемам обоих иерархических уровней, а также такого набора каналов связи между ними, который позволил бы достичь наиболее приемлемого сочетания значений частных показателей эффективности функционирования ИС при соблюдении технических, технологических и ресурсных ограничений.

Конкретный перечень показателей эффективности обычно задается заказчиком разработки. В общем случае можно выделить три группы: показатели результативности, показатели оперативности и показатели ресурсоемкости функционирования системы. Основным показателем результативности ИС в рассматриваемом случае является достоверность контроля параметров ТС бортовой аппаратуры КА. К показателям оперативности можно отнести среднее время контроля, пропускную способность каналов передачи результатов контроля. К показателям ресурсоемкости — стоимость системы и эксплуатационные затраты. Кроме того, косвенно определяют степень ресурсоемкости показатели надежности и степени унификации оборудования системы.

Могут учитываться ограничения по целесообразности и (или) технической реализуемости размещения отдельных образцов оборудования на конкретных иерархических уровнях системы или на конкретных базисных подсистемах; по технической совместимости образцов оборудования; по суммарной массе и габаритам; по суммарному энергопотреблению, по количеству обслуживающего персонала и т.п. Весьма важны ограничения на показатели моральной долговечности функционирования ИС: запас срока службы ИС по экономическому устареванию [9, 10], по функциональному устареванию [10, 11], а также по отказоустойчивости [10, 12].

Формализуем задачу формирования цели эволюционного развития ИС с использованием математического аппарата дискретного программирования: найдем рациональный (т.е. компромиссный, определяемый одновременно по нескольким критериям) вектор оценок параметров функциональной и технической структуры рассматриваемой системы на основе использования дискретной модели многокритериального функционально-структурного синтеза [13].

Введем следующие обозначения:

1) множество задач  $A = \{a_s\}_{s \in S}$ , которые должны решаться ИС для обеспечения ее функционирования;

2) множество алгоритмов  $A'$ , при помощи которых осуществляется решение задач. В целях упрощения отождествим множества  $A$  и  $A'$ , т.е. будем считать, что каждой задаче взаимно однозначно соответствует некоторый алгоритм  $a_s$ . Для него заданы затраты на эксплуатацию в течение некоторого периода  $\alpha_s^3$ , среднее число операций  $\alpha_s^0$ , выполняемых во время работы, необходимый объем оперативной памяти  $\alpha_s^П$ ;

3) множество базисных подсистем нижнего (I) уровня иерархии  $P = \{p_v\}_{v \in V}$ ;

4) множество базисных подсистем верхнего (II) уровня иерархии  $F = \{f_q\}_{q \in Q}$ ;

5) граф логических связей между алгоритмами с матрицей смежности

$$E^A = \begin{pmatrix} 0 & e_{12} & \dots & e_{1s} \\ e_{21} & 0 & \dots & e_{2s} \\ & & \dots & \\ e_{s1} & e_{s2} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$e_{ss'} = \begin{cases} 1, & \text{если алгоритм } a_{s'} \text{ выполняется после алгоритма } a_s; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

6) множество типов наземных серверов  $U = \{u_j\}_{j \in J}$ , которые могут быть использованы для решения задач в системе на нижнем уровне иерархии (уровне I). Для каждого типа сервера заданы стоимость  $\beta_j^c$ , затраты на эксплуатацию в течение некоторого периода  $\beta_j^3$ , быстродействие  $\beta_j^6$ , объем оперативной памяти  $\beta_j^П$ , характеристика надежности  $\beta_j^H$  (например, вероятность безотказной работы в течение некоторого периода);

7) множество типов бортовых процессоров  $B = \{b_k\}_{k \in K}$ , предназначенных для функционирования на верхнем уровне иерархии ИС (уровне II). Функционирование процессоров помимо задания характеристик  $\gamma_k^c$ ,  $\gamma_k^6$ ,  $\gamma_k^П$ ,  $\gamma_k^H$ , аналогичных характеристикам для наземных серверов, требует знания и некоторых других параметров (например, массы  $\gamma_k^M$ , габаритов  $\gamma_k^Г$ , уровня энергопотребления  $\gamma_k^ЭП$ );

8) множество типов систем передачи данных (СПД)  $D = \{d_m\}_{m \in M}$  со следующими параметрами: стоимость  $\delta_m^c$ , затраты на эксплуатацию в течение некоторого периода  $\delta_m^3$ , скорость передачи информации  $\delta_m^H$ , вероятность безотказной работы  $\delta_m^H$ , достоверность передачи информации  $\delta_m^П$ , масса  $\delta_m^M$ , габариты  $\delta_m^Г$ , уровень энергопотребления  $\delta_m^ЭП$ ;

9) множество типов технических средств контроля (датчиков, средств и систем измерений параметров технического состояния)  $R = \{r_l\}_{l \in L}$  с соответствующими характеристиками:

перечень  $\omega_l = \{\omega_l^1, \omega_l^2, \dots, \omega_l^{k_1}\}$  элементарных операций контроля технического состояния бортовой аппаратуры КА;

10) совокупность показателей, по которым оценивается эффективность функционирования системы при различных вариантах ее структуры:  $\Pi_{ДК}$  — достоверность контроля параметров технического состояния бортовой аппаратуры КА;  $\Pi_{ВК}$  — среднее время контроля параметров технического состояния бортовой аппаратуры КА;  $\Pi_{ПСК}$  — пропускная способность системы контроля параметров технического состояния бортовой аппаратуры КА;  $\Pi_{СС}$  — стоимость системы;  $\Pi_{ЗЭ}$  — затраты на эксплуатацию;  $\Pi_{НС}$  — надежность системы;  $\Pi_{СУО}$  — степень унификации оборудования системы;

11) совокупность ограничений при выборе предпочтительного варианта структуры системы:  $O_{Ц(ТР)}$  — ограничения по целесообразности и (или) технической реализуемости размещения задач и оборудования на базисных подсистемах;  $O_{Л(ТС)}$  — ограничения по логической или технической совместимости образцов оборудования;  $O_{М(Г)}$  — ограничения по суммарной массе и габаритам;  $O_{СПЭ}$  — ограничения по суммарному энергопотреблению;  $O_{КОП}$  — ограничения по количеству обслуживающего персонала;  $O_{ЗМСС}$  — ограничения по запасу морального срока службы.

Введем булевы переменные, характеризующие распределение текущих и перспективных задач по соответствующим базисным подсистемам ИС:

$$x_{vs} = \begin{cases} 1, \text{ если } s\text{-я задача решается в } v\text{-й базисной} \\ \text{подсистеме уровня I;} \\ 0 \text{ в противном случае;} \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{qs} = \begin{cases} 1, \text{ если } s\text{-я задача решается в } q\text{-й базисной} \\ \text{подсистеме уровня II;} \\ 0 \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Введем следующие булевы переменные, характеризующие наличие прямых каналов связи определенного типа между базисными подсистемами одного уровня и разных уровней ИС:

$$x_{vv'm} = \begin{cases} 1, \text{ если между } v\text{-й и } v'\text{-й подсистемами уровня I} \\ \text{существует прямой канал связи на основе системы} \\ \text{передачи данных типа } m; \\ 0 \text{ в противном случае;} \end{cases} \quad (4)$$

$$x_{qq'm} = \begin{cases} 1, \text{ если между } q\text{-й и } q'\text{-й подсистемами уровня II} \\ \text{существует прямой канал связи на основе системы} \\ \text{передачи данных типа } m; \\ 0 \text{ в противном случае;} \end{cases} \quad (5)$$

$$x_{vqm} = \begin{cases} 1, \text{ если между } v\text{-й подсистемой уровня I и} \\ q'\text{-й подсистемой уровня II существует прямой} \\ \text{канал связи на основе системы передачи} \\ \text{данных типа } m; \\ 0 \text{ в противном случае;} \end{cases} \quad (6)$$

Введем следующие булевы подвекторы, представляющие собой транспонированные бинарные коды количества средств определенного типа, устанавливаемых на рассматриваемой базисной подсистеме:

$$x_{vl} = (x_{vl}^1, x_{vl}^2, \dots, x_{vl}^{N_1})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{устанавливается } 2^{N_1-1} \text{ технических средств типа } l; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{устанавливается одно техническое средство типа } l; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{не устанавливаются технические средства типа } l; \end{cases} \quad (7)$$

$$x_{ql} = (x_{ql}^1, x_{ql}^2, \dots, x_{ql}^{N_1'})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме уровня II} \\ & \text{устанавливается } 2^{N_1'-1} \text{ технических средств типа } l; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме уровня II} \\ & \text{устанавливается одно техническое средство типа } l; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме уровня II} \\ & \text{не устанавливаются технические средства типа } l; \end{cases} \quad (8)$$

$$x_{vj} = (x_{vj}^1, x_{vj}^2, \dots, x_{vj}^{N_2})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{устанавливается } 2^{N_2-1} \text{ серверов типа } j; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{устанавливается один АРМ (сервер) типа } j; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме уровня I} \\ & \text{не устанавливаются серверы типа } j; \end{cases} \quad (9)$$

$$x_{qk} = (x_{qk}^1, x_{qk}^2, \dots, x_{qk}^{N_3})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если на } q\text{-м объекте} \\ & \text{устанавливается } 2^{N_3-1} \text{ процессоров типа } k; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если на } q\text{-м объекте} \\ & \text{устанавливается один процессор типа } k; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если на } q\text{-м объекте} \\ & \text{не устанавливается ни одного процессора типа } k; \end{cases} \quad (10)$$

$$x_{vm} = (x_{vm}^1, x_{vm}^2, \dots, x_{vm}^{N_4})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме} \\ & \text{устанавливается } 2^{N_4-1} \text{ СПД типа } m; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме} \\ & \text{устанавливается один СПД типа } m; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } v\text{-й подсистеме} \\ & \text{не устанавливаются СПД типа } m; \end{cases} \quad (11)$$

$$x_{qm} = (x_{qm}^1, x_{qm}^2, \dots, x_{qm}^{N'_4})^T = \begin{cases} (1, 1, \dots, 1)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме} \\ & \text{устанавливается } 2^{N'_4-1} \text{ СПД типа } m; \\ \vdots \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме} \\ & \text{устанавливается один СПД типа } m; \\ (0, 0, \dots, 0)^T, & \text{если в } q\text{-й подсистеме не} \\ & \text{устанавливаются СПД типа } m. \end{cases} \quad (12)$$

Описанная выше структура логических булевых переменных и булевых подвекторов, задающих варианты функциональной и технической структуры синтезируемой ИС, представлена на рисунке.

Таким образом, функциональная структура ИС, описывающая распределение функциональных задач по базисным подсистемам ИС, представляется вектором  $\mathbf{X}_{\langle n' \rangle}^{\text{FC}} = \langle x_{vs}, x_{qs} \rangle$ . Техническая структура ИС, в свою очередь, задается выражением

$$\mathbf{X}_{\langle n'' \rangle}^{\text{TC}} = \langle x_{vv'm}, x_{qq'm}, x_{vqm}, x_{vl}, x_{ql}, x_{vj}, x_{qk}, x_{vm}, x_{qm} \rangle.$$

Все параметры распределения задач (алгоритмов), технических, вычислительных средств и каналов передачи данных между базисными компонентами сведем в обобщенный вектор параметров функциональной и технической структур системы:

$$\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{\text{PCC}} = \langle x_{vs}, x_{qs}, x_{vv'm}, x_{qq'm}, x_{vqm}, x_{vl}, x_{ql}, x_{vj}, x_{qk}, x_{vm}, x_{qm} \rangle. \quad (13)$$

Число компонентов вектора  $\mathbf{X}_{\text{PCC}}$  равно  $n$

$$n = |S| (|V| + |Q|) + |V| \left[ N_1 |L| + N'_1 |Q| + N_2 |J| + N_4 |M| + N'_4 |M| + \frac{1}{2} (|V| - 1) |M| \right] + N_3 |Q| |K|, \quad (14)$$

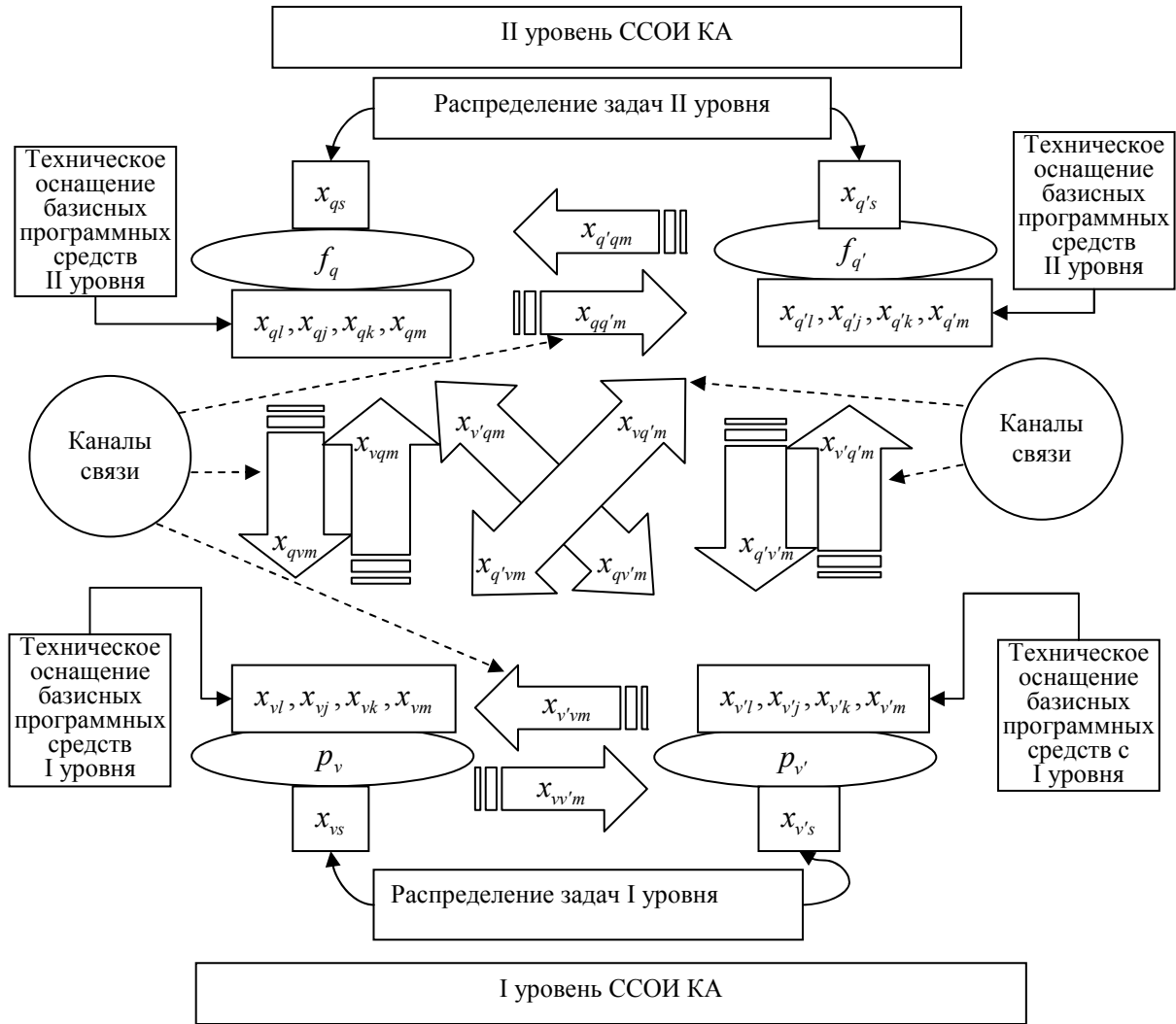
где  $|S|, |V|, |Q|, |J|, |L|, |M|, |K|$  — кардинальные числа (мощности) соответствующих множеств  $S, V, Q, J, L, M, K$ , а  $N_1, N'_1, N_2, N_3, N_4, N'_4$  — размерность соответствующих булевых подвекторов (7)—(12).

Все параметры технических средств, вычислительных средств и алгоритмов сведем в обобщенный вектор параметров элементов системы:

$$\eta_{n''}^{\text{PEC}} = \langle \alpha_s^{\exists}, \alpha_s^0, \alpha_s^{\Pi}, e_{ss'}, \beta_j^c, \beta_j^{\exists}, \beta_j^{\bar{c}}, \beta_j^{\Pi}, \beta_j^{\text{H}}, \gamma_k^c, \gamma_k^{\bar{c}}, \gamma_k^{\Pi}, \gamma_k^{\text{H}}, \gamma_k^{\text{M}}, \gamma_k^{\Gamma}, \gamma_k^{\exists}, \delta_m^c, \delta_m^{\exists}, \delta_m^{\text{H}}, \delta_m^{\text{D}}, \delta_m^{\bar{c}}, \delta_k^{\text{M}}, \delta_k^{\Gamma}, \delta_k^{\exists}, \xi_l^{\text{D}}, \xi_l^c, \xi_l^{\exists}, \xi_l^{\text{H}}, \xi_k^{\text{M}}, \xi_k^{\Gamma}, \xi_k^{\exists}, \omega_l \rangle. \quad (15)$$

Число компонентов вектора  $\eta_n^{ПЭС}$  равно  $m$

$$m = 3 |S| + (|S| - 1) |S| + 5 |J| + 7 |K| + 5 |M| + (4 + K_l) |L|.$$



Совокупность показателей эффективности функционирования ССОИ КА с учетом введенных обозначений обобщенных векторов (13) и (15) можно записать как

$$\begin{aligned} \mathfrak{E}_{\langle 7 \rangle}^{ФС}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}) = & \langle \Pi_{ДК}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \Pi_{ВК}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \Pi_{ПСК}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \\ & \Pi_{СС}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \Pi_{ЗЭ}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \Pi_{НС}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}), \\ & \Pi_{СУО}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}) \rangle. \end{aligned} \quad (16)$$

Теперь можно записать задачу синтеза функциональной и технической структуры ИС в компактном виде как задачу нахождения такого рационального значения компонентов обобщенного вектора  $\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС*}$  параметров структуры системы, при котором достигается предпочтительное значение показателей эффективности функционирования системы в условиях наложенных ограничений

$$\mathfrak{E}_{\langle 7 \rangle}^{ФС}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС}, \eta_{\langle n'' \rangle}^{ПЭС}) \rightarrow \underset{\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{ПСС} \in \Delta_B \subset B^n}{\text{extr}}, \quad (17)$$

где через  $B^n$  обозначено множество всех векторов с булевыми компонентами размерности  $n$ , а через  $\Delta_B$  — подмножество булевых векторов, удовлетворяющих системе ограничений

$$\mathbf{O}_{\langle 6 \rangle} = \langle \mathbf{O}_{\text{Ц(ТР)}}; \mathbf{O}_{\text{Л(ТС)}}; \mathbf{O}_{\text{М(Г)}}; \mathbf{O}_{\text{СПЭ}}; \mathbf{O}_{\text{КОП}}; \mathbf{O}_{\text{ЗМСС}} \rangle. \quad (18)$$

Если учесть, что при решении задачи синтеза структуры системы в многокритериальной постановке (17) рациональное решение неизбежно носит компромиссный характер, при котором, как правило, одновременно не достигаются экстремумы по всем составляющим вектора (16), то корректна несколько иная форма записи задачи синтеза структуры системы:

$$\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{\text{ПСС}^*} = \arg \underset{\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{\text{ПСС}} \in \Delta_{\beta} \subset B^n}{\text{compromise}} \mathfrak{E}_{\langle 7 \rangle}^{\text{ФС}}(\mathbf{X}_{\langle n \rangle}^{\text{ПСС}}, \eta_{\langle n \rangle}^{\text{ПЭС}}), \quad (19)$$

которая более точно отражает смысл процедуры поиска предпочтительного варианта. При этом  $\arg \text{compromise}$  относится к классу операций формирования, последующего анализа и сужения множества парето-оптимальных решений.

Анализ размерности векторов параметров  $\mathbf{X}_{\text{ПСС}}$  и  $\eta_n^{\text{ПЭС}}$  реальной ИС позволяет заключить, что на практике значение  $n$  (размерность задачи) может достигать нескольких сотен, поэтому количество вариантов структуры создаваемой системы (равное  $2^n$ ) имеет порядок порога Бремерманна—Эшби ( $2^{100}$ ) [13], что характеризует задачу синтеза структуры двухуровневой распределенной системы сбора и обработки информации о ТС КА в процессе их жизненного цикла как задачу теории больших систем, которая не может быть в принципе решена методом простого перебора альтернатив и требует применения специальных приемов сокращенного перебора вариантов ИС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митчелл Р. Моральный износ и как с ним бороться // Computer world Россия. 2008. № 32 [Электронный ресурс]: <<http://www.osp.ru/cw/2008/32/5462756/>>.
2. Дорохов А. Н., Миронов А. Н., Шестопалова О. Л. Определение потребности в модернизации средств технического обеспечения распределенной системы сбора и обработки информации // Информация и космос. 2014. № 1. С. 9—12.
3. Лоскутов А. И., Патраков С. С., Шестопалова О. Л. Интеллектуальная информационно-диагностическая система оценивания технического состояния бортовой аппаратуры космических аппаратов при подготовке их к запуску // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 18—24.
4. Анкудинов Г. И. Синтез структуры сложных объектов: Логико-комбинаторный подход. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. 260 с.
5. Раков Д. Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода. М.: ЛИБРОКОМ, 2011. 160 с.
6. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структур сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
7. Цыгичко В. Н., Попович А. Ю. Синтез иерархических систем управления: Теория и практика. М.: КРАСАНД, 2012. 256 с.
8. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.
9. Муравьев А. В., Шестопалова О. Л. Прогнозирование морального старения информационной системы. М.: Московский печатник, 2014. 88 с.
10. Муравьев А. В., Шестопалова О. Л. Особенности учета инфляционных процессов при прогнозировании затрат на эксплуатацию распределенных информационных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2014. № 5(21) [Электронный ресурс]: <[http://iea.gostinfo.ru/files/2014\\_05/2014\\_05\\_12.pdf](http://iea.gostinfo.ru/files/2014_05/2014_05_12.pdf)>.
11. Шестопалова О. Л. Прогнозирование степени функционального устаревания информационных систем на основе экстраполяции нечетких экспертных оценок // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 4. С. 312—319.



12. Шестопалова О. Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6 [Электронный ресурс]: <<http://www.science-education.ru/113-11078>>.
13. Резников Б. А. Методы и алгоритмы оптимизации на дискретных моделях сложных систем. Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1983. 250 с.

#### Сведения об авторе

**Ольга Львовна Шестопалова** — канд. техн. наук, доцент; Московский авиационный институт, филиал „Восход“; факультет испытаний летательных аппаратов; E-mail: [neman2004@mail.ru](mailto:neman2004@mail.ru)

Поступила в редакцию  
05.07.19 г.

**Ссылка для цитирования:** Шестопалова О. Л. Функционально-структурный синтез системы сбора и обработки информации о техническом состоянии космических аппаратов // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 10. С. 865—874.

## FUNCTIONAL-STRUCTURAL SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR COLLECTION AND PROCESSING OF INFORMATION ON SPACE VEHICLES TECHNICAL CONDITION

O. L. Shestopalova

Moscow Aviation Institute, "Voskhod" Branch, 468320, Baikonur, Kazakhstan  
E-mail: [neman2004@mail.ru](mailto:neman2004@mail.ru)

On the example of synthesis of structure of two-level distributed system of collection and processing of information on technical condition of space vehicles in the course of their life cycle, a statement is given of the problem of formation of the information system target state. An approach to implementation of the concept of functional-structural synthesis of complex systems based on solution of multi-criteria discrete programming problem is used. Composition and dimensions of generalized vectors of structural parameters of the system and its elements are specified. Expressions for estimating the problem dimensionality are presented. It is concluded that a special technique of reduced iteration of information system variants is necessary to be applied.

**Keywords:** information acquisition and processing system, spacecraft, functional-structural synthesis, multicriterial discrete programming.

### REFERENCES

1. Mitchell R. *Computer world Rossiya*, 2008, no. 32, <http://www.osp.ru/cw/2008/32/5462756/>. (in Russ.)
2. Dorokhov A.N., Mironov A.N., Shestopalova O.L. *Information and Space*, 2014, no. 1, pp. 9–12. (in Russ.)
3. Loskutov A.I., Patrakov S.S., Shestopalova O.L. *Informatsionno-upravliayushchie sistemy (Information and Control Systems)*, 2014, no. 2(69), pp. 18–24. (in Russ.)
4. Ankudinov G.I. *Sintez struktury slozhnykh ob"yektov: Logiko-kombinatornyy podkhod* (Synthesis of the Structure of Complex Objects: Logical-Combinatorial Approach), Leningrad, 1986, 260 p. (in Russ.)
5. Rakov D.L. *Strukturnyy analiz i sintez novykh tekhnicheskikh sistem na baze morfologicheskogo podkhoda* (Structural Analysis and Synthesis of New Technical Systems Based on the Morphological Approach), Moscow, 2011, 160 p. (in Russ.)
6. Tsvirkun A.D. *Osnovy sinteza struktur slozhnykh sistem* (Fundamentals of the Synthesis of Structures of Complex Systems), Moscow, 1982, 200 p. (in Russ.)
7. Tsygichko V.N., Popovich A.Yu. *Sintez iyerarkhicheskikh sistem upravleniya: Teoriya i praktika* (Synthesis of Hierarchical Control Systems: Theory and Practice), Moscow, 2012, 256 p. (in Russ.)
8. Balashov E.P. *Evolutsionnyy sintez sistem (Evolutionary synthesis of systems)*, Moscow, 1985, 328 p. (in Russ.)
9. Murav'yev A.V., Shestopalova O.L. *Prognozirovaniye moral'nogo stareniya informatsionnoy sistemy (Prediction of the Moral Aging of the Information System)*, Moscow, 2014, 88 p. (in Russ.)
10. [http://iea.gostinfo.ru/files/2014\\_05/2014\\_05\\_12.pdf](http://iea.gostinfo.ru/files/2014_05/2014_05_12.pdf). (in Russ.)
11. Shestopalova O.L. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. 4(62), pp. 312–319. (in Russ.)
12. <http://www.science-education.ru/113-11078>. (in Russ.)
13. Reznikov B.A. *Metody i algoritmy optimizatsii na diskretnykh modelyakh slozhnykh sistem* (Optimization methods and algorithms on discrete models of complex systems), Leningrad, 1983, 250 p. (in Russ.)

**Data on author**

**Olga L. Shestopalova** — PhD, Associate Professor; Moscow Aviation Institute, “Voskhod” Branch, Aircraft Testing Faculty; Dean of the Faculty;  
E-mail: neman2004@mail.ru

**For citation:** Shestopalova O. L. Functional-structural synthesis of a system for collection and processing of information on space vehicles technical condition. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 10. P. 865—874 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-865-874